



Patente Nro.	AR 014046 B1
Concedida	28/03/2006
Fecha de vencimiento	27/11/2018
Acta Nro.	P 98 01 06037
Presentada	27/11/1998
Clase	C04B14/38 14/20 1
Título	HORMIGON CONSTITUIDO POR UNA MATRIZ CEMENTICIA ENDURECIDA, MATRIZ CEMENTICIA Y PREMEZCLA
Solicitante/Titular	BOUYGUES * LAFARGE * RHODIA CHIMIE
Domicilio	25, quai Paul Doumer 92400 COURBEVOIE FRANCE
Prioridad:	FR - 9714928 - 27/11/1997
Reválida	
Adicional	
Divisional	
Carpeta	201.992

339521/D16812

\*20102019920300\*



Patente Nro.	AR 014046 B1
Concedida	28/03/2006
Fecha de vencimiento	27/11/2018
Acta Nro.	P 98 01 06037
Presentada	27/11/1998
Clase	C04B14/38 14/20 1
Título	HORMIGON CONSTITUIDO POR UNA MATRIZ CEMENTICIA ENDURECIDA, MATRIZ CEMENTICIA Y PREMEZCLA
Solicitante/Titular	BOUYGUES * LAFARGE * RHODIA CHIMIE
Domicilio	25, quai Paul Doumer 92400 COURBEVOIE FRANCE
Prioridad:	FR - 9714928 - 27/11/1997
Reválida	
Adicional	
Divisional	
Carpeta	201.992

339521/D16812

\*20102019920300\*



HORMIGON CONSTITUIDO POR UNA MATRIZ CEMENTARIA ENDURECIDA,  
MATRIZ CEMENTARIA Y PREMEZCLAS

La presente invención se relaciona con un hormigón constituido por una matriz cementaria endurecida, matriz cementaria y premezclas. Tiene como objeto principal un hormigón mejorado que permite, especialmente, fabricar elementos de estructuras para ingeniería civil destinados a la realización de edificios y obras de arte y que tienen propiedades superiores a las de los elementos de la técnica anterior. En particular, la presente invención está dirigida a la obtención, para el hormigón de estructura, de un comportamiento mecánico que es a la vez tenaz y dúctil.

Un análisis estructural del hormigón ha demostrado que sus propiedades mecánicas están estrechamente relacionadas con la presencia de defectos de estructura. Pueden observarse varios tipos de defectos que se diferencian por su tamaño en estos hormigones cuando son sometidos a cargas mecánicas.

En la escala más baja, se observa un defecto denominado microporosidad del hormigón. Se trata de poros, denominados capilares, que surgen de los espacios intergranulares que están presentes inicialmente en la pasta fresca. Su tamaño varía entre 50 nm y algunos micrones.

En la siguiente escala se observan defectos de microfisuración. Se trata de microfisuras que presentan aberturas que van desde 1 hasta varios cientos de micrones. Son no coalescentes, es decir no forman una vía continua a través de la estructura. Se deben principalmente al carácter heterogéneo del hormigón, presentando las granulares del mismo propiedades mecánicas y físicas que son diferentes de las del aglutinante/cemento. Aparecen después de la carga mecánica. Este tipo de defecto es el principal responsable de las débiles propiedades mecánicas del hormigón en tracción y de su carácter frágil.

En la última escala se observan defectos de macrofisuración. La abertura de estas fisuras varía desde algunos cientos de micrones hasta algunos mm. Estas fisuras son coalescentes.

Pueden observarse también defectos más importantes de tamaño mili-

métrico que se deben a una mala preparación del hormigón (aire ocluido, defectos de relleno).

Se han sugerido soluciones para disminuir la presencia de estos diferentes defectos o bien para atenuar sus efectos sobre las características mecánicas del hormigón.

Para mejorar las características mecánicas de los hormigones se ha propuesto reemplazar la arena de la matriz cementaria por otros constituyentes más útiles pero el costo del hormigón se incrementa de modo redhibitorio para que su utilización pueda ser propuesta de manera corriente para ingeniería civil, debido a las restricciones económicas que pesan en este campo.

Igualmente se ha propuesto incorporar a la composición de hormigón agregados de dureza elevada, pero las cantidades que se emplean para obtener el rendimiento deseado también aumentan de manera excesiva el precio de costo del hormigón teniendo en cuenta el elevado costo de estos agregados.

Se ha propuesto también mejorar, algunas veces de manera espectacular, algunas propiedades mecánicas del hormigón incorporándole una tasa elevada de fibras de refuerzo, o sea típicamente una tasa de 10 a 15% en volumen, pero esta tasa no solamente tiene un efecto muy sensible sobre el precio de costo del hormigón, sino que además hace que su amasado, su homogeneización y eventualmente su colada sean demasiado difíciles o demasiado críticos para poder ser aplicados en ingeniería civil y principalmente bajo las condiciones de trabajo de una obra de construcción.

Igualmente, la microporosidad pudo ser parcialmente controlada disminuyendo la relación en peso de agua a cemento, y utilizando fluidificantes. La utilización de cargas finas, especialmente de reacción puzolánica, ha permitido también reducir el tamaño de los microporos.

Sin embargo, la organización del esqueleto granular mediante los métodos

habituales no permite obtener hormigón con reología satisfactoria bajo condiciones aceptables de puesta en práctica para ingeniería civil (fibras mal dispersadas, defectos de microestructuras, ...).

La microfisuración ha sido enormemente reducida mediante:

- la mejora de la homogeneidad del hormigón, limitando por ejemplo el tamaño de los granulares a 800  $\mu\text{m}$ ,
- la mejora de la compactación del material (optimización granular y eventual prensado antes y durante la solidificación),
- tratamientos térmicos después de la solidificación.

En cuanto a la macrofisuración, puede controlarse mediante la utilización de fibras metálicas, pero con las mismas dificultades de puesta en práctica mencionadas precedentemente.

A título de documento ilustrativo de la técnica anterior, puede citarse la solicitud de patente WO-A-95/01316 que se refiere a hormigón de fibras metálicas en el cual la cantidad de fibras es controlada y las dimensiones de las fibras se eligen en proporciones determinadas en relación a las de los elementos granulares.

Este hormigón de fibras comprende cemento, elemento granulares, elementos finos de reacción puzolánica y fibras metálicas. Los elementos granulares deben presentar un espesor de grano máximo  $D$  de por lo menos 800  $\mu\text{m}$ , las fibras deben tener una longitud individual  $l$  comprendida entre 4 y 20 mm, y la relación  $R$  entre la longitud media  $L$  de las fibras y  $D$  debe ser por lo menos igual a 10, siendo la cantidad de fibras una cantidad tal que su volumen es de 1 a 4% del volumen del hormigón después de la solidificación.

El hormigón obtenido presenta un comportamiento dúctil o de pseudo-batido.

Sigue existiendo la necesidad de eliminar los defectos previamente citados

o de reducir fuertemente sus efectos y especialmente las microfisuraciones, ya que ha podido observarse que las puestas en práctica descriptas en el arte anterior sirven principalmente para evitar el desarrollo de macrofisuras y no de microfisuras; las microfisuras por lo tanto quedan sólo parcialmente estabilizadas y bajo un esfuerzo se desarrollan.

La presente invención tiene como objetivo un hormigón que contiene fibras metálicas de refuerzo y que posee propiedades mejoradas en relación a los hormigones similares de la técnica anterior.

Mediante propiedades mejoradas, se entiende tanto las características mecánicas superiores a las de los hormigones de fibras conocidos, como las características que son por lo menos iguales a las de los hormigones de fibras conocidos, pero que son susceptibles de ser obtenidos a escala industrial de manera constante y reproducible.

Otro objetivo de la presente invención es aumentar el nivel de esfuerzo cuando aparece el primer deterioro del hormigón (es decir las microfisuras), e incrementar de este modo el dominio de utilización del hormigón, es decir el comportamiento elástico lineal del hormigón.

Otra finalidad más de la presente invención es la de mejorar el batido del hormigón más allá del primer deterioro, controlando la propagación de las macrofisuras. La invención se propone también incrementar el dominio de utilización del hormigón más allá del primer deterioro mejorando el comportamiento dúctil del hormigón.

Una finalidad más de la invención es la de mejorar, mediante un efecto de sinergia entre la matriz cementaria y las fibras, el comportamiento del hormigón tanto frente a la aparición de microfisuras como frente a la propagación de macrofisuras.

Mediante "matriz cementaria", se designa la composición cementaria

endurecida fuera de las fibras metálicas.

Otro objetivo más de la presente invención, que es particularmente importante para la obtención de cuerpo en el hormigón, el cual, debido a su dimensión o a las condiciones de obra no podría someterse a un tratamiento térmico, es la obtención bajo condiciones mejoradas frente a la técnica anterior y especialmente a las temperaturas cercanas a la temperatura ambiente (20°C), de un hormigón que tiene características mecánicas (en el sentido indicado precedentemente), por lo menos iguales a las que no pueden ser obtenidas si no es mediante un tratamiento térmico en el caso de los mejores hormigones de fibras conocidos.

La presente invención tiene también como objetivo una matriz cementaria que permite obtener el hormigón de la invención y las premezclas que comprenden la totalidad o parte de los constituyentes necesarios para la preparación de esta matriz o del hormigón.

Bajo su forma general, la invención se refiere a un hormigón constituido por una matriz cementaria endurecida en la cual se dispersan las fibras metálicas, provenientes de la mezcla con agua de una composición que comprende, además de las fibras:

- (a) cemento;
- (b) elementos granulares que tienen un espesor de grano máximo  $D_{max}$  de a lo sumo 2 mm, preferentemente de a lo sumo 1 mm;
- (c) elementos de reacción puzolánica que tienen un tamaño de partículas elementales de a lo sumo 1  $\mu m$ , preferiblemente de a lo sumo 0,5  $\mu m$ ;
- (d) constituyentes que son capaces de mejorar la tenacidad de la matriz elegidos entre elementos aciculares o plaquetarios que tienen un tamaño medio de a lo sumo 1 mm, y que están presentes en una proporción volúmica comprendida entre 2,5 y 35% del volumen acumulado de los elementos granulares (b) y de



los elementos de reacción puzolánica (c);

(e) por lo menos un agente dispersante;

y que responde a las siguientes condiciones:

(1) el porcentaje en peso del agua E en relación al peso acumulado del cemento (a) y de los elementos (c) está comprendido en la gama de 8-24%;

(2) las fibras presentan una longitud individual l de por lo menos 2 mm y una relación  $l/\phi$ , siendo  $\phi$  el diámetro de las fibras de por lo menos 20;

(3) la relación R entre la longitud media L de las fibras y el espesor del grano máximo Dmax de los elementos granulares es de por lo menos 10;

(4) la cantidad de fibras es tal que su volumen es inferior a 4% y preferiblemente a 3,5% en relación al volumen del hormigón después de la solidificación.

Por lo tanto, gracias a una concepción novedosa del esqueleto granular y de su relación con las fibras de refuerzo, esta solución responde al problema planteado con el compromiso de propiedades mecánicas/reología.

No se cambian sensiblemente las propiedades del hormigón según la invención si se utilizan, también en el seno de la matriz, elementos granulares (b) de un espesor de grano que sobrepasa los 2 mm en una proporción que no sobrepasa 25% del volumen del conjunto de los constituyentes (a) + (b) + (c) + (d).

La presencia de esta clase granular en tal proporción puede considerarse una carga que no participa de los rendimientos mecánicos del material en la medida en la cual:

- el tamaño del grano D50 del conjunto de los constituyentes (a), (b), (c) y (d) es de a lo sumo 200  $\mu\text{m}$ , preferiblemente a lo sumo 150  $\mu\text{m}$ , y
- la relación R entre la longitud media L de las fibras y el tamaño de los granos D75 del conjunto de los constituyentes (a), (b), (c) y (d) es de por lo menos

5, preferiblemente por lo menos 10.

Mediante tamaño de los granos D75 y D50, se entiende respectivamente los tamaños de tamices a través de los cuales los granos que pasan constituyen respectivamente 75% y el 50% del volumen total de los granos.

La invención se refiere por lo tanto también a un hormigón constituido por una matriz cementaria endurecida en la cual están dispersadas las fibras metálicas, proveniente de la mezcla con agua de una composición que comprende, además de las fibras:

(a) cemento;

(b) elementos granulares;

(c) elementos de reacción puzolánica que tienen un tamaño de partículas elementales de a lo sumo  $1\ \mu\text{m}$ , preferiblemente de a lo sumo  $0,5\ \mu\text{m}$ ;

(d) constituyentes que son capaces de mejorar la tenacidad de la matriz elegidos entre elementos aciculares o plaquetarios que tienen un tamaño medio de a lo sumo  $1\ \text{mm}$ , y que están presentes en una proporción volúmica comprendida entre 2,5 y 35% del volumen acumulado de los elementos granulares (b) y de los elementos de reacción puzolánica (c);

(e) por lo menos un agente dispersante;

y que responde a las siguientes condiciones:

(1) el porcentaje en peso del agua E en relación al peso acumulado del cemento (a) y de los elementos (c) está comprendido en la gama de 8-24%;

(2) las fibras presentan una longitud individual l de por lo menos  $2\ \text{mm}$  y una relación  $l/\varnothing$ , siendo  $\varnothing$  el diámetro de las fibras, de por lo menos 20;

(3) la relación R entre la longitud media L de las fibras y el tamaño de grano D75 del conjunto de los constituyentes (a), (b), (c) y (d) es de por lo menos 5, preferiblemente de por lo menos 10;

(4) la cantidad de fibras es tal que su volumen es inferior a 4% y

preferiblemente a 3,5% del volumen del hormigón después de la solidificación;

(5) el conjunto de los constituyentes (a), (b), (c) y (d) presenta un tamaño de grano D75 de a lo sumo 2 mm, preferiblemente de a lo sumo 1 mm, y un tamaño de grano D50 de a lo sumo 150  $\mu\text{m}$ , preferiblemente de a lo sumo 100  $\mu\text{m}$ .

Las condiciones (3) y (5) se aplican a todos los constituyentes sólidos (a), (b), (c) y (d) confundidos, fuera de las fibras, y no para cada uno de ellos tomado individualmente.

Preferiblemente, la tenacidad de la matriz cementaria es de por lo menos 15 J/m<sup>2</sup>, ventajosamente menos de 20 J/m<sup>2</sup>.

La tenacidad se expresa o bien en términos de esfuerzo (factor de intensidad de esfuerzo: K<sub>c</sub>), o bien en términos de energía (tasa crítica de energía: G<sub>c</sub>), utilizando el formalismo de la Mecánica Lineal de la Ruptura.

A continuación se describirá en la parte de la descripción relativa a los ejemplos los métodos de las medidas utilizadas para determinar la tenacidad cementaria.

La tenacidad de la matriz cementaria se obtiene mediante agregado a la composición cementaria de elementos (d) de un tamaño medio de a lo sumo 1 mm, preferiblemente de a lo sumo 500  $\mu\text{m}$  que se presentan bajo una forma acicular o bajo la forma de plaquetas. Están presentes en una proporción volúmica comprendida en la gama de 2,5-35%, en particular en la gama de 5-25% del volumen acumulado de los elementos granulares (b) y de los elementos de reacción puzolánica (c).

Dichos elementos, teniendo en cuenta su función de mejoramiento de la tenacidad de la matriz, se denominarán a continuación en la siguiente descripción "elementos de refuerzo".

Mediante "tamaño" de los elementos de refuerzo, se entiende el tamaño de

su dimensión más grande (especialmente la longitud para las formas aciculares).

Puede tratarse de productos naturales o de síntesis.

Los elementos de refuerzo de forma acicular pueden elegirse entre fibras de wollastonita, fibras de bauxita, fibras de mullita, fibras de titanato de potasio, fibras de carburo de silicio, fibras de celulosa o derivados de celulosa, tales como acetato de celulosa, fibras de carbono, fibras de carbonato de calcio, fibras de hidroxiapatita y otros fosfatos de calcio, o los productos derivados obtenidos por trituración de dichas fibras y las mezclas de dichas fibras.

Preferiblemente, se utilizan elementos de refuerzo cuya acicularidad, expresada por la relación longitud/diámetro, es de como mínimo 3 y preferiblemente como mínimo 5.

Las fibras de wollastonita dan buenos resultados. Es así, que la presencia de fibras de wollastonita en la matriz cementaria conduce a una reducción de la microporosidad. Este sorprendente efecto resulta particularmente aparente para hormigones sometidos a una maduración a 20°C (ver lo que se indica a continuación).

Los elementos de refuerzo bajo la forma de plaquetas pueden elegirse entre plaquetas de mica, plaquetas de talco, plaquetas de silicatos mixtos (arcillas), plaquetas de vermiculita, plaquetas de aluminio y aluminatos o silicatos mixtos y las mezclas de dichas plaquetas.

Las plaquetas de mica dan buenos resultados.

Es posible utilizar combinaciones de estas diferentes formas o naturalezas de elementos de refuerzo en la composición del almidón según la invención.

Estos elementos de refuerzo pueden presentar por lo menos en parte en la superficie un revestimiento orgánico polimérico que comprende un látex obtenido a partir de por lo menos uno de los siguientes compuestos: alcohol polivinílico, silanos, siliconatos, resinas de siloxanos, poliorganosiloxanos o el producto de la

reacción entre (1) por lo menos un ácido carboxílico que contiene de 3 a 22 átomos de carbono, (2) por lo menos una amina aromática o alifática polifuncional o una amina substituida, que contiene de 2 a 25 átomos de carbono, y (3) un agente de reticulación que es un complejo de metal hidrosoluble, que contiene por lo menos un metal elegido entre: zinc, aluminio, titanio, cobre, cromo, hierro, circonio y plomo; este producto se describe en forma más particular en la solicitud europea EP-A-0.372.804.

El espesor de este revestimiento puede variar entre 0,01 y 10  $\mu\text{m}$ , preferiblemente entre 0,1 y 1  $\mu\text{m}$ .

Los látex pueden elegirse entre látex de estireno-butadieno, látex acrílicos, látex de estireno-acrílicos, los látex metacrílicos, látex carbonilados y fosfonados. Los látex que presentan funciones complejantes de calcio son los preferidos.

El revestimiento orgánico polimérico puede obtenerse mediante tratamiento en lecho fluido o con ayuda de un mezclador de tipo FORBERG de los elementos de refuerzo en presencia de uno de los compuestos definidos precedentemente.

Los siguientes compuestos son los compuestos preferidos: poliorgano-siloxano H240, resinas de siloxanos Rhodorsil 878, 865 y 1830 PX, Manalox 403/60/WS y WB LS 14, todos ellos comercializados por Rhodia Chimie, siliconatos de potasio.

Este tipo de tratamiento es recomendado particularmente para los elementos de refuerzo que consisten en productos naturales.

En lo que se refiere a las fibras metálicas, puede tratarse de fibras metálicas elegidas entre fibras de acero tal como fibras de acero de alto tenor mecánico, fibras de acero amorfo o bien fibras de acero inoxidable. Eventualmente, las fibras de acero pueden estar revestidas con un metal no ferroso tal como cobre, zinc, níquel (o sus aleaciones).

La longitud individual l de las fibras metálicas es de por lo menos 2 mm y

preferiblemente, está comprendida en la gama de 10-30 mm. La relación  $l/\phi$ , donde  $\phi$  es el diámetro de las fibras es de por lo menos 20 y, preferiblemente de a lo sumo 200.

Pueden utilizarse fibras de geometría variable: pueden ser dentadas, onduladas o rizadas en los extremos. Igualmente se puede trabajar sobre la rugosidad de las fibras y/o utilizar fibras con sección transversal variable; dichas fibras pueden obtenerse con cualquier técnica pertinente, incluyendo por trenzado o cableado de varios alambres metálicos que forman un cordón.

Las cantidad de fibras es tal que su volumen es inferior a 4%, y preferiblemente a 3,5% del volumen del hormigón después de la solidificación.

Ventajosamente, el esfuerzo de adherencia media de las fibras en la matriz cementaria endurecida debe ser de por lo menos 10 MPa, preferiblemente de por lo menos 15 MPa. Este esfuerzo ha sido determinado mediante ensayo de extracción de una monofibra encastrada en un bloque de hormigón tal como se describirá a continuación.

Se observó que los hormigones según la invención presentan a la vez dicho esfuerzo de adherencia de las fibras y una tenacidad de matriz elevada (preferiblemente de por lo menos  $15 \text{ J/m}^2$ ) que conduce a la obtención de mejores rendimientos mecánicos, por la sinergia entre estas dos propiedades.

El nivel de adherencia fibra/matriz puede controlarse por varios medios que pueden utilizarse individual o simultáneamente.

De acuerdo con un primer medio, la adherencia de las fibras en la matriz cementaria puede obtenerse por tratamiento de la superficie de las fibras. Este tratamiento de las fibras puede efectuarse mediante por lo menos uno de los siguientes procedimientos:

- ataque químico de las fibras;
- depósito de un compuesto mineral sobre las fibras, especialmente depósito

de sílice o de un fosfato metálico.

El ataque químico puede realizarse, por ejemplo, poniendo en contacto las fibras con un ácido, y luego por neutralización.

El depósito de sílice puede obtenerse poniendo en contacto las fibras con compuestos de silicio, tales como silanos, siliconatos o soles de sílice.

El depósito de fosfato metálico generalmente se obtiene mediante un procedimiento de fosfatación, el cual consiste en introducir las fibras metálicas previamente desoxidadas en una solución acuosa que comprende un fosfato metálico, preferiblemente fosfato de manganeso o de zinc, y filtrar luego la solución para recuperar las fibras. Las fibras son a continuación enjuagadas, neutralizadas, y luego enjuagadas nuevamente. Contrariamente al procedimiento habitual de fosfatación, las fibras obtenidas no deben someterse a un acabado de tipo graso; por el contrario pueden impregnarse eventualmente con un aditivo para otorgarles una protección anticorrosión, o bien para facilitar su puesta en práctica con el medio cementario. El tratamiento de fosfatación puede obtenerse también por enduido o pulverización de la solución de fosfato metálico sobre las fibras.

Puede utilizarse cualquier tipo de procedimiento de fosfatación, y en este sentido nos remitimos a los tratamientos descritos en el artículo de G. LORIN, titulado "La Phosphatation des Métaux" (1973), Ed. EYROLLES.

Según una segunda forma, el esfuerzo de adherencia de las fibras en la matriz cementaria puede obtenerse mediante introducción en la composición de por lo menos uno de los siguientes compuestos: los compuestos de sílice que comprenden principalmente sílice, carbonato de calcio precipitado, alcohol polivinílico en solución acuosa, látex o una mezcla de dichos compuestos.

Mediante compuesto de sílice que comprende principalmente sílice, se entienden aquí los productos de síntesis elegidos entre sílice de precipitación,

soles de sílice, sílices de pirogenación (de tipo Aérosil), sílico-aluminatos, por ejemplo Tixosil 28 comercializado por Rhodia Chimie, o los productos de tipo arcilla (naturales o derivados): por ejemplo esmectitas, silicatos de magnesio, sepiolitas y montmorillonitas.

Se utiliza de manera preferida por lo menos una sílice de precipitación.

Mediante sílice de precipitación, se entiende aquí sílice obtenida por precipitación a partir de la reacción de un silicato de metal alcalino con un ácido en general inorgánico, a un pH adecuado del medio de precipitación, en particular un pH básico, neutro o poco ácido; el modo de preparación del sílice puede ser cualquiera (adición de ácido sobre un pie de cuba de silicato, adición simultánea total o parcial de ácido o de silicato sobre un pie de cuba de agua o de solución de silicato, etc...) y se elige en función del tipo de sílice que se desea obtener; después de la etapa de precipitación se procede en general a una etapa de separación del sílice del medio de reacción de acuerdo con cualquier medio conocido, por prensado por filtrado o filtrado al vacío por ejemplo; se reconoce de esta manera una torta de filtración, la cual se lava si es necesario; esta torta puede, eventualmente después de deslecharse, secarse mediante cualquier medio conocido, especialmente por atomización, y luego eventualmente puede triturarse y/o aglomerarse.

En general, la cantidad de sílice de precipitación introducida está comprendida entre 0,1% y 5% en peso, expresado en seco, en relación al peso total del hormigón. Más allá de 5%, se observan habitualmente problemas de reología al preparar el mortero.

De preferencia, la sílice de precipitación se introduce en la composición bajo la forma de una suspensión acuosa. Puede tratarse especialmente de una suspensión acuosa de sílice que presenta:



- un tenor de materia seca de 10 a 40% en peso;
- una viscosidad inferior a  $4,10^{-2}$  Pa.s para un cizallamiento de  $50 \text{ s}^{-1}$ ;
- una cantidad de sílice contenida en el sobrenadante de dicha suspensión a 7500 trs/min durante 30 minutos, además de 50% en peso de sílice contenida en la suspensión.

Esta suspensión se describe en forma más particular en la solicitud de patente WO-A-96/01787. La suspensión de sílice Rhoximat CS 60 SL comercializada por Rhodia Chimie conviene particularmente para este tipo de hormigón.

El cemento (a) de la composición de acuerdo con la invención es ventajosamente un cemento Portland tal como los cementos Portland CPA PMES, HP, HPR, CEM I PMES, 52,5 ó 52,5R o HTS (de alto tenor de sílice).

Los elementos granulares (b) son esencialmente arena o mezclas de arenas, tamizadas o trituradas que pueden comprender ventajosamente arenas silíceas, en particular harina de cuarzo.

El tamaño de grano máximo D100 o Dmax de estos elementos es preferiblemente de a lo sumo 6 mm.

Estos elementos granulares están presentes en general a razón de 20 a 60% en peso de la matriz cementaria, preferiblemente de 25 a 50% en peso de dicha matriz.

Los elementos finos de reacción puzolánica (c) presentan un tamaño de partículas elementales de por lo menos  $0,1 \mu\text{m}$ , a lo sumo  $1 \mu\text{m}$ , preferiblemente a lo sumo  $0,5 \mu\text{m}$ . Pueden elegirse entre los compuestos de sílice, especialmente sílice fumante, cenizas voladoras, lechadas de altos hornos, derivados de arcilla tales como caolín. La sílice puede ser sílice fumante proveniente de la industria del circonio más que sílice fumante proveniente de la industria del silicio.

El porcentaje en peso de agua/cemento, tradicional en la técnica del hormigón, puede variar cuando se utilizan substituyentes del cemento que son

especialmente los elementos de reacción de puzolánica. Para las necesidades de la presente invención, se ha definido la relación ponderal de la cantidad de agua E frente al peso acumulado de cemento y de los elementos de reacción puzolónica. Definida de esta manera, esta relación está comprendida entre 8 y 24% aproximadamente, preferiblemente entre 13 y 20% aproximadamente. En la descripción de los ejemplos, se utilizó sin embargo la relación E/C de agua a cemento.

La composición según la invención comprende igualmente un agente dispersante (e). Este agente dispersante es en general un agente fluidificante. El agente fluidificante puede elegirse entre: lignosulfonatos, caseína, polinaftalenos, en particular polinaftalensulfonatos de metales alcalinos, derivados de formaldehído, poliacrilatos de metales alcalinos, policarboxilatos de metales alcalinos y polióxidos de etileno injertados. En general, la composición según la invención comprende de 0,5 a 2,5 partes en peso de agente fluidificante por cada 100 partes en peso de cemento.

Pueden agregarse otros aditivos en la composición de acuerdo con la invención, por ejemplo un agente anti-espumante. A título de ejemplo, pueden utilizarse por ejemplo los anti-espumantes a base de polidimetilsiloxano o propilen glicol.

Entre este tipo de agentes, pueden citarse especialmente siliconas bajo la forma de una solución, de un sólido, y preferiblemente bajo la forma de una resina, de un aceite o de una emulsión, preferiblemente, en agua. Muy particularmente son convenientes las siliconas que comprenden esencialmente los motivos M ( $\text{RSiO}_{0,5}$ ) y ( $\text{D(R}_2\text{SiO)}$ ). En estas fórmulas, los radicales R, idénticos o diferentes, se eligen particularmente entre hidrógeno y los radicales alquilo que comprenden 1 a 8 átomos de carbono, prefiriéndose el radical metilo. La cantidad de motivos está preferiblemente comprendida en la gama de 30 a 120.

La cantidad de dicho agente en la composición generalmente es de a lo sumo 5 partes en peso por cada 100 partes de cemento.

Todos los tamaños de partículas se miden por MET (microscopio electrónico en transmisión) o MEB (microscopio electrónico por barrido).

La matriz puede contener otros ingredientes con la condición de que los mismos no perturben el rendimiento esperado para el hormigón.

El hormigón puede obtenerse mediante cualquier procedimiento conocido por el experto en la materia, especialmente por amasadura de los constituyentes sólidos y agua, por puesta en forma (moldeo, colada, inyección, bombeo, extrusión, calandrado) y luego endurecimiento.

Por ejemplo, para preparar el hormigón, se amasan los constituyentes de la matriz y las fibras de refuerzo con la cantidad de agua adecuada.

Ventajosamente, se respecta el orden de amasado siguiente:

- se amasan los constituyentes pulverulentos de la matriz (por ejemplo 2 minutos);
- se introduce el agua y una fracción, de por ejemplo la mitad de los coadyuvantes;
- se amasa (por ejemplo durante 1 minuto);
- se introduce la fracción restante de los coadyuvantes;
- se amasa (por ejemplo o 3 minutos);
- se introducen las fibras de refuerzo y los constituyentes adicionales;
- se amasa (por ejemplo 2 minutos).

El hormigón se somete a una maduración entre 20°C y 100°C durante todo el tiempo necesario para la obtención de las características mecánicas deseadas.

Se halló de manera sorprendente que una maduración a una temperatura cercana a la temperatura ambiente provee buenos resultados gracias a la selección de los constituyentes de la composición del hormigón.

En este caso, se deja madurar el hormigón, por ejemplo a una temperatura cercana a 20°C.

La maduración puede hacer intervenir igualmente un tratamiento térmico entre 60 y 100°C a presión normal sobre el hormigón endurecido.

El hormigón obtenido puede someterse, especialmente, a un tratamiento térmico entre 60 y 100°C durante 6 horas, hasta 4 días siendo la duración óptima del orden de 2 días, y comenzando el tratamiento después de la solidificación de la mezcla o por lo menos un día después de que comience la solidificación. En general, son suficientes períodos de tratamiento de 6 horas a 72 horas, en la gama de temperaturas precitada.

El tratamiento térmico se realiza en ambiente seco o húmedo o de acuerdo con ciclos en los que se alternan los dos ambientes, por ejemplo 24 horas en ambiente húmedo seguidas de 24 horas en ambiente seco.

Se emplea este tratamiento térmico sobre hormigones que terminaron su solidificación preferiblemente madurados por lo menos durante un día y aún mejor madurados por lo menos 7 días aproximadamente.

La adición de polvo de cuarzo puede resultar útil cuando el hormigón es sometido al tratamiento térmico precitado.

El hormigón puede ser preconstreñido en pre-tensión mediante alambre adherente o por cordón adherente, o puede ser preconstreñido en post-tensión por monocordones recubiertos engrasados o por cables o barras recubiertos, estando el cable constituido por un conjunto de alambres o estando constituido por cordones.

La pre-constricción, ya sea bajo la forma de pre-tensión o bajo la forma de post-tensión está particularmente y bien adaptada para los productos de hormigón de acuerdo con la invención.

Efectivamente, los cables de pre-constricción metálicos tienen siempre

resistencias a la tracción más elevadas, mal utilizadas porque la fragilidad de la matriz que los contiene no permite optimizar las dimensiones de los elementos estructurales en hormigón.

Se experimentó un progreso mediante el uso de hormigones de alto rendimiento; en el caso del hormigón de acuerdo con la invención el material está reforzado con fibras metálicas de manera homogénea lo cual le permite alcanzar rendimientos mecánicos elevados conjuntamente con ductilidad. La pre-constricción de este material mediante cables o cordones cualquiera sea el modo se utiliza entonces en su casi totalidad lo cual crea elementos de hormigón pre-constreñidos muy resistentes en tracción y en flexión y por lo tanto optimizados.

La disminución de volumen obtenida, por el hecho de este incremento de resistencias mecánicas puede generar elementos prefabricados muy livianos. Por tal razón, existe la posibilidad de disponer de elementos de hormigón de gran alcance fácilmente transportables gracias a su liviandad; esto está particularmente bien adaptado para la realización de grandes obras en las que la utilización de la pre-constricción mediante post-tensión es ampliamente utilizada. La solución presenta por lo tanto para este tipo de obras, un ahorro en el montaje y en el tiempo de duración de la obra que son particularmente favorables.

Además, en el caso de la cura térmica, la utilización de la pre-constricción, pre- o post-tensión, disminuye significativamente la contracción.

Esta propiedad es particularmente buscada y el conjunto de ventajas que se citan a continuación asociadas a la baja permeabilidad del producto, son muy ventajosos para la duración y el mantenimiento de las obras a lo largo del tiempo, lo cual hace que este material pueda substituir en forma válida las obras realizadas en acero.

Los hormigones obtenidos de acuerdo con la presente invención presentan en general una resistencia a la tracción directa  $R_t$  de por lo menos 12 MPa.

Igualmente pueden presentar una resistencia a la flexión de 4 puntos  $R_f$  de menos de 25 MPa, una resistencia a la compresión  $R_c$  de por lo menos 150 MPa y una energía de fracturación  $W_f$  de por lo menos 2500 J/m<sup>2</sup> ( $\Rightarrow$  Preferencias : a revisar).

La invención se refiere igualmente a la matriz cementaria destinada a la obtención y a la puesta en práctica del hormigón definido preferentemente.

Finalmente, la invención se refiere a premezclas que comprenden la totalidad o parte de los constituyentes necesarios para la preparación del hormigón y de la matriz definidos precedentemente.

#### BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es un gráfico obtenido mediante ensayos de flexión con, como ordenadas, los valores de la constricción (MPa) y en abscisas los valores de la flecha (mm) para muestras de hormigón con una relación de  $E/C = 0,24$  y una maduración a 20°C, respectivamente con wollastonita (curvas 12,1, 12,2 y 12,3) y sin wollastonita (curvas 11,1, 11,2, 11,3).

La figura 2 es un gráfico análogo a la figura 1 pero para muestras de hormigón de la misma composición con un tratamiento térmico a 90°C : curvas 10,1, 10,2, 10,3 con wollastonita y curvas 9,1, 9,2, 9,3 sin wollastonita.

La figura 3 es un gráfico obtenido mediante los ensayos de tracción con muestras de hormigón que se refieren a las fibras de acero no tratadas con una relación  $E/C = 0,20$  y un tratamiento térmico a 90°C, respectivamente con sílice de precipitación (curvas 20,1, 20,2, 20,3) y sin sílice de precipitación (curvas 20,4, 20,5).

La figura 4 es un gráfico obtenido mediante ensayos de flexión para tres muestras con una relación  $E/C = 0,25$  y un tratamiento térmico a 90°C respectivamente con las fibras tratadas en su superficie (curvas, 16,1, 16,2) y no tratadas (curva 15,1). En ordenadas, los valores son llevados a los esfuerzos de flexión

(MPa) y en abscisas, los valores de la flecha (mm).

Las figuras 5 a 7 representan la porosidad de las muestras de hormigón, determinadas por la técnica de intrusión de mercurio : en ordenadas, el volumen acumulado (ml/g) y en abscisas el diámetro de los poros (micrones).

La figura 5 corresponde a una muestra de hormigón (ejemplo 1) sometida a una maduración a 20°C.

La figura 6 corresponde a una muestra de hormigón (ejemplo 2) que ha sido sometida a un tratamiento térmico a 90°C.

La figura 7 corresponde a una muestra de hormigón que contiene wollastonita (ejemplo 3) y que ha sido sometida a una maduración a 20°C.

La figura 8 es un gráfico resultante de un análisis mediante técnicas de resonancia magnética nuclear del  $^{29}\text{Si}$  de un hormigón según la invención que comprende wollastonita y que ha sido madurado a 20°C (curva 23) comparado con dos de los mismos hormigones que tienen la misma composición pero que están desprovistos de wollastonita uno de los cuales es el objeto de un tratamiento térmico a 90°C (curva 22) y el otro ha sido madurado a 20°C (curva 24). Se observará que las dos curvas 22 y 23 son muy poco diferentes en lo que se refiere a los picos Q2. Estos picos relativos a los dobles enlaces de los radicales  $\text{SiO}_4$  son tanto más intensos cuando las cadenas de hidratos son largas. Por lo tanto puede concluirse que el agregado de wollastonita permite obtener a 20°C un alargamiento de la cadena de hidratos del mismo orden que el obtenido mediante tratamiento térmico a 90°C de una composición sin wollastonita.

La figura 9 es un gráfico obtenido mediante los ensayos de adherencia de alambres de acero tratados o sin tratar. En ordenadas, se lleva la fuerza del arrancamiento F (kN) y en abscisas, el desplazamiento U de la fibra (mm).

La figura 10 es un gráfico obtenido mediante los ensayos de adherencia de

los alambres de acero de diferentes diámetros. En ordenadas, se lleva la fuerza del arrancamiento  $F$  (kN) y en abscisas, el desplazamiento  $U$  de la fibra (mm).

La figura 11 es un gráfico obtenido mediante los ensayos de adherencia de los alambres de acero anclados en el hormigón sobre diferentes longitudes. En ordenadas, se ilustra el esfuerzo de desadherencia (MPa) y en abscisas, la longitud de anclaje (mm).

La figura 12 es un gráfico obtenido mediante ensayos de flexión de un hormigón según la invención en presencia o no de anti-espumante. En ordenadas =, se lleva el esfuerzo MPa y en abscisas =, el desplazamiento para espécimen de hormigón con una relación  $E/C = 0,24$ .

La figura 13 representa las curvas granulométricas de la suma de los constituyentes (a) + (b) + (c) + (d) para los diferentes hormigones de acuerdo con la invención.

Las figuras 14 y 15 proporcionan las propiedades de los almidones que presentan diferentes repartos granulométricos.

La figura 16 es un gráfico que analiza el valor del efecto de la sinergia entre la presencia de las fibras adherentes y una matriz de alta tenacidad.

Podrá observarse además que una importante característica de la presente invención es la permitir la obtención de hormigones que tienen propiedades mejoradas y que contienen por lo tanto una cantidad de fibras metálicas netamente menor que en las numerosas proposiciones de la técnica anterior. De acuerdo con la invención, efectivamente, las cantidades de fibras metálicas inferiores a 4% y preferiblemente a 3,5% del volumen del hormigón después de la solidificación, y que pueden ser especialmente tan bajas como 2% del volumen del hormigón después de la solidificación, tal como se ilustró en los ejemplos precedentes, son suficientes para obtener hormigones que tienen propiedades mecánicas mejoradas. Este sorprendente efecto se debe de acuerdo a los



Los ejemplos que siguen ilustran la invención sin limitarla de ninguna manera.

### Constituyentes.

Cemento Portland (a): de alto tenor de sílice, tipo HTS, proveniente de la sociedad LAFARGE (FRANCIA).

Harina de cuarzo (b): calidad C400 con 50% de granos inferiores a 10 micrones proveniente de la Société SIFRACO (FRANCIA) o calidad C500 con 50% de granos inferiores a 5 micrones proveniente de la Société SIFRACO.

Elemento de refuerzo de tipo acicular (d): Wollastonita( $\text{CaSiO}_3$ ).

- tamaño:  $l = 300$  micrones en promedio (50 micrones - 500 micrones)  
 $d = 20$  micrones
- factor de forma:  $l/d = 15$

- granulometría:

< 100 Malla US (%): 99

< 200 Malla US (%): 87

< 325 Malla US (%): 65

- densidad específica: 2,9

Elemento de refuerzo de tipo de wollastonita "triturada" (d):

El producto utilizado es la wollastonita NYCO 1250.

La wollastonita NYCO 1250 presenta un tamaño medio (D50) de 8 micrones, con un factor de forma (l/d) de 3 y un espesor de partículas de:

< 20 micrones (%): 100

< 10 micrones (%): 96

Elemento de refuerzo plaquetario (d): mica (Muscovita : silicato hidrato de

Al y K).

El producto utilizado es comercializado por la Société KAOLINS D'ARVOR, 56270 Ploemeur, Francia, bajo la denominación Micarvor MG 160, cuyas características son:

- tamaño: l = 75 micrones en promedio (10 micrones - 200 micrones)

- espesor de las plaquetas: algunos micrones

- granulometría:

< 0,160 mm (%): 98

< 0,040 mm (%): 30

- densidad específica: 2,75

Coadyuvantes:

- agente dispersante líquido X 404 proveniente de la Société MAPEI (ITALIA) o SSP104 fabricado por la Société TAKEMOTO OIL (JAPON) y distribuido por Société MITSUBISHI u OPTIMA 100 fabricado y distribuido por

CHRYSO, polvo de agente dispersante RHOXIMAT B36 producido por RHODIA CHIMIE;

- anti-espumante RHOXIMAT 6352DD comercializado por RHODIA CHIMIE;

- suspensión de sílice RHOXIMAT CS60SL comercializado por RHODIA CHIMIE.

Fibras: Las fibras metálicas son fibras de acero que tienen una longitud de 13 mm, un diámetro de 200 micrones y una resistencia a la ruptura en tracción de 2800 MPa, provistas por la Société BEKAERT (Bélgica). Cuando están presentes, las fibras son introducidas a razón de 2% en volumen o sea un peso en relación al cemento de: 0,222.

### **La preparación de las muestras de hormigón**

En estos ejemplos, el modo operativo para la fabricación de muestras de ensayo consiste en utilizar un amasador de alta turbulencia con rotación de la cuba, de tipo EIRICH R02 que tiene una capacidad de 5 litros, o un EIRICH R08 que tiene una capacidad de 75 litros o un amasador de bajo cizallamiento del tipo HOBART o PERRIER.

En promedio, en todos los ejemplos, el valor del aire arrastrado es inferior a 3,5%.

### **Maduración**

Para los ensayos, se utilizaron dos modos de tratamiento del hormigón endurecido, uno con una maduración a 20°C y el otro con un tratamiento térmico a 90°C.

Maduración a 20°C: Las muestras fueron desmoldadas 48 horas después de la colada. Fueron sometidas a continuación a un tratamiento que consistía en almacenarlas bajo agua a 20°C durante un mínimo de 14 horas. Las muestras fueron maquinadas (si hay necesidad de acuerdo con el ensayo a realizar) 26

días después de la colada y el ensayo se realizó 28 horas después de la colada.

Tratamiento térmico a 90°C: Las muestras fueron desmoldadas 48 horas después de la colada. A continuación fueron sometidas a un tratamiento que consistía en almacenarlas en estufa a 90°C 24 horas en aire húmedo y luego 24 horas en aire seco. La maquinación eventual se efectuó 6 días después de la colada y el ensayo se realizó al cabo de 7 días como mínimo después de la colada.

### **Medidas**

Las medidas se refieren a las características mecánicas de la matriz principalmente la tenacidad y las características mecánicas del material final con las fibras metálicas, en cuanto a flexión, tracción y compresión.

Se efectuaron en dimensiones de las muestras adaptadas a la medida correspondiente.

#### Tenacidad

Los métodos para medir la tenacidad de la matriz cementaria son los siguientes.

Los ensayos se realizaron en 3 puntos de flexión, a partir de prismas entallados 40x40x250 ó 70x70x280 mm, es decir muestras de una geometría SENB (procedimiento ASTM -E 399-83). Un entallado de perfil en V fue realizado en seco sobre estos prismas, con ayuda de una fresadora equipada con un disco diamantado. La profundidad relativa  $a/w$  del entallado es de 0,4 (a: profundidad del entallado, w: altura de la muestra).

El factor crítico de intensidad del esfuerzo  $K_{Ic}$  se obtiene a partir de la carga de ruptura  $F$  y de la longitud de la fisura  $a$  en el punto de la inestabilidad (ensayo de unión desplazamiento, a  $10^{-2}$  mm/s, en una máquina de ensayo universal SCHENCK):

donde

$l$  representa el entre-eje entre los puntos de apoyo (banco de flexión) = 200 mm,

$d$  y  $w$  son respectivamente la profundidad y la altura de la muestra,

$a$  es la longitud del entallado en el momento de la ruptura,

$Y$  es un parámetro de forma que depende de la longitud de fisura ( $\alpha = a/w$ )

En flexión de 3 puntos se utiliza preferiblemente el parámetro  $Y$  según (SRAWLEY, J. E. - International Journal of Fracture (1976), Vol. 12, páginas 475 a 476):

En el caso de un comportamiento no lineal (ductilidad), la fuerza retenida  $F$  para la estimación de la tenacidad corresponde al fin de la parte lineal (diagrama fuerza-desplazamiento); el punto de inestabilidad corresponde entonces al cebado de la fisura.

La tasa crítica de energía  $G_c$  puede obtenerse a partir de las curvas de fuerza-desplazamiento, a condición de extraer las contribuciones debidas a las deformaciones parásitas y relacionar la energía disipada a la sección de ligamento:  $(w-a) \times d$ .

En deformación plana, existe una relación simple entre  $K_c$  y  $G_c$ :

donde:

E es el módulo elástico,

$\nu$  representan el coeficiente de Poisson.

E se obtiene experimentalmente por vibración de una muestra prismática colocada sobre dos soportes, a partir de la determinación de la frecuencia fundamental (Método GRINDOSONIC).

#### Adherencia

En lo que se refiere a la adhesión de las fibras metálicas en la matriz cementaria, el esfuerzo es determinado por un ensayo de extracción de una monofibra encastrada en un bloque de hormigón.

Los ensayos se realizaron sobre un alambre continuo de acero de un diámetro:  $d = 200 \mu\text{m}$ .

Cuando se trataron los alambres, fueron cuidadosamente desengrasados (alcohol/acetona), y luego desoxidados (ácido clorhídrico diluido). Entonces se realizó un tratamiento de tipo fosfatación (fosfatación de manganeso o zinc). Se aportó un cuidado particular para el acabado: neutralización, enjuague, y secado.

Los alambres fueron encastrados en bloques de hormigón de las dimensiones de 4X4X4 cm. La composición utilizada es la misma que la que se utilizó para las muestras de ensayo mecánico (flexión, compresión, y tracción): la relación agua/cemento se fijó a 0,25.

Los alambres encastrados en una longitud de 10 mm fueron extraídos por tracción con ayuda de una máquina de ensayo universal (SCHENCK), a una velocidad de 0,1 mm/min.

El esfuerzo ejercido se midió a través de un captador de fuerza adaptado, y el desplazamiento del alambre (en relación a la muestra) a través de un captador de extensometría.

El esfuerzo de adherencia medio se estimó a partir de la fórmula simplificada siguiente:

donde  $F_{max}$  es la fuerza máxima medida,  $\phi$  es el diámetro del alambre y la longitud de encastre.

Tenor de tracción directa:  $R_t$

Se trata del valor obtenido en tracción directa sobre muestras alteradas maquinadas a partir de prismas de 70X70X280 mm, o sea una sección útil de 70X50 mm sobre una altura de 50 mm. Las muestras, cuidadosamente alineadas se montaron de manera rígida sobre el puesto de ensayo (UTS) con un solo grado de libertad.

donde  $F_{max}$  representa la fuerza máxima en N (pico) para una ruptura que tiene lugar en la sección central 70X50 mm.

La fijación de la muestra sobre el bocado de la máquina de tracción se realizó mediante adhesión y luego por presión con bulones.

Tenor de flexión:  $R_f$

$R_f$  es el valor obtenido en flexión de 4 puntos sobre muestras prismáticas de 70X70X280 mm montadas sobre soportes rotulados según las normas NFP 18-411 y NFP 18-409 y ASTM C 1018.

donde  $F_{max}$  representa la fuerza máxima en N (fuerza pico),  $l = 210$  mm y  $l' = l/3$  y  $d = w = 70$  mm.

Tenor de compresión:  $R_c$

$R_c$  es el valor obtenido en compresión directa sobre muestra cilíndrica rectificada (diámetro 70 mm/altura 140 mm).

donde  $F$  representa la fuerza a la ruptura en N, y  $d$  el diámetro de las muestras (70 mm).

Energía de fracturación:  $W_f$

$W_f$  es el valor obtenido por determinación del área total bajo la curva fuerza-flecha, en un ensayo de flexión de 4 puntos sobre prismas 70X70X280 mm. La flecha medida fue corregida con el fin de determinar el desplazamiento real de la muestra:

donde  $F$  es la fuerza aplicada,  $\delta$  el desplazamiento real (flecha corregida),  $d_w$  la sección de la muestra.

EJEMPLOS 1 a 17: influencia de los elementos de refuerzo (d)

Con fines comparativos se presentan los resultados obtenidos con hormigón en el que se hicieron variar los constituyentes de la composición, y para algunos de entre ellos donde ciertos constituyentes fueron omitidos, especialmente las fibras con el fin de hacer resaltar las ventajas sorprendentes obtenidas utilizando la combinación de los constituyentes de una composición de hormigón según la invención.

Los resultados de los ejemplos 1 a 17 han sido reunidos en la tabla I siguiente que provee la composición de las muestras de hormigón realizadas y



sus parámetros respectivos.

Las cantidades de los elementos de refuerzo (d), en lo que sigue se indican en porcentaje en volumen relación al volumen acumulado de los elementos granulares (b) y de los elementos de reacción puzolánica (c).

Las cantidades de los otros constituyentes del hormigón (a, b, c, coadyuvante, agua) se expresan en partes en peso.

El coadyuvante utilizado en estos ejemplos 1 a 17 es un agente dispersante.

La arena utilizada es arena BE31 cuyo reparto granulométrico está indicado en el ejemplo 24.

Tabla 1

Ejemplo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cemento Portland (a)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Silice vítrea (c)	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325
Harina de cuarzo (b)	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
Wollastonita acicular (d)	0	0	0,39	0,39	0	0,240	0	0	0	0,240
Mica (d)	0	0	0	0	0	0	0,220	0	0	0
Wollastonita triturada (d)	0	0	0	0	0	0	0	0,150	0	0
Arena (b)	1,430	1,430	1,070	1,070	1,430	1,215	1,215	1,29	1,430	1,215
Dispersante (extracto seco)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
Agua	0,200	0,200	0,270	0,270	0,250	0,250	0,300	0,250	0,240	0,240
Fibras no tratadas (% volumen)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
Fibras tratadas (% volumen)										
Maduración o tratamiento térmico (°C)	20	90	20	90	90	90	90	90	90	90
Tenacidad G (J/m²)	9	10	20	22	13	25	22	15	10	27
Resistencia a la flexión (MPa)	16,6	16,5	11,1	14,3					21,3	28,7
Resistencia a la tracción (MPa)	7,1	6,7	6,0	6,7					10,8	13,0
Resistencia a la compresión (MPa)		198,2		201,8					182,3	180,3

Tabla I (continuación)

Ejemplo N°	11	12	13	14	15	16	17
Cemento Portland (a)	1	1	1	1	1	1	1
Silice vítrea (c)	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325
Harina de cuarzo (b)	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
Wollastonita acicular (d)	0	0,240	0	0	0	0	0,240
Mica (d)	0	0	0	0,220	0	0	0
Wollastonita triturada (d)	0	0	0	0	0	0	0
Arena (b)	1,430	1,215	1,43	1,215	1,430	1,430	1,215
Dispersante (extracto seco)	0,012	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Agua	0,240	0,240	0,300	0,300	0,250	0,250	0,250
Fibras no tratadas (% volumen)	2	2	2	2	2	0	0
Fibras tratadas (% volumen)	0	0	0	0	0	2	2
Maduración o tratamiento térmico (°C)	20	20	90	90	90	90	90
Tenacidad G (J/m <sup>2</sup> )	10	26	9	24	12	12	29
Resistencia a la flexión (MPa)	18,5	25,1	14	25	19	26	34
Resistencia a la tracción (MPa)	7,7	11,1					

N.B.: En la tabla las cantidades de los constituyentes se expresan en partes en peso, la cantidad de cemento se toma como referencia y es igual a una parte en peso con excepción de las fibras, que usando están presentes, se indican en porcentaje del volumen total de la composición,  $D_{50} = 75 \mu\text{m}$  y  $D_{75} = 350 \mu\text{m}$ .

La comparación de los ejemplos 1 y 2 (muestras sin wollastonita) con los ejemplos 3 y 4 (muestras con 17% de wollastonita acicular) demuestra que la tenacidad casi es el doble para un hormigón que no contiene fibras metálicas. Se obtienen resultados parecidos comparando el ejemplo 5 (muestra sin wollastonita) con el ejemplo 6 (muestra con 10% de wollastonita acicular), siempre tratándose de un hormigón sin fibras. Este mejoramiento de la tenacidad (agregado de wollastonita) depende de la calidad de la naturaleza del cemento.

La tenacidad del hormigón con las fibras metálicas sin wollastonita es de 10 J/m<sup>2</sup>, (ejemplo 9) y pasa a 27 J/m<sup>2</sup> cuando se incorpora 10% de wollastonita (ejemplo 10).

La energía de fracturación global es el resultado de un efecto acumulativo de energía consumida por la matriz (tenacidad GC) y de energía disipada por las fibras metálicas.

Se constata que la presencia de los elementos de refuerzo aciculares, especialmente wollastonita, en una matriz cementaria particularmente poco porosa amplifica la transmisión de los esfuerzos entre las fibras y el hormigón, lo cual permite, gracias a un efecto de sinergia, sacar un partido óptimo de las fibras, que están presentes en pequeñas cantidades en relación al hormigón y mejorar de esta manera la ductilidad del material.

Esta combinación de la porosidad de la matriz cementaria, de elementos de refuerzo aciculares o plaquetarios y de fibras metálicas presentes en pequeñas cantidades en relación al hormigón constituye una característica importante y original de la presente invención.

Los elementos de refuerzo anisotrópicos ejercen de este modo un rol importante para el control de la microfisuración y para la transferencia de cargas entre matriz y fibras metálicas. Igualmente se constata un mejoramiento de las características mecánicas del material en cuanto a la flexión, tracción y

compresión.

La utilización de los elementos de refuerzo plaquetarios de tipo mica (ejemplo 7) provee igualmente un neto mejoramiento de la tenacidad.

La utilización de los elementos de refuerzo del tipo de wollastonita triturada (ejemplo 8), actúa positivamente sobre la tenacidad de la matriz, pero en menor medida que la wollastonita acicular.

La introducción de un elemento de refuerzo acicular conduce a un aumento significativo de la tenacidad; este aumento es más débil cuando el factor de acicularidad (o de tamaño) disminuye.

Pueden efectuarse observaciones parecidas para las otras características mecánicas. De esta manera la utilización de wollastonita acicular mejora netamente la resistencia a la flexión: ver la comparación entre los ejemplos 11 (sin wollastonita acicular) y 12 (con wollastonita acicular). Lo mismo sucede para los refuerzos de tipo mica: comparar los ejemplos 13 (sin mica) y 14 (con mica).

En general, el tratamiento térmico a 90°C ejerce un efecto favorable sobre la resistencia a la flexión, que en este caso mejora.

Sin embargo, incluso con una maduración a 20°C, la resistencia a la flexión aumenta mediante la introducción de wollastonita acicular (ejemplo 12 comparado con el ejemplo 11, estando realizado este último con una composición sin wollastonita).

Igualmente, la adición de wollastonita acicular mejora sensiblemente las resistencias a la tracción con maduración a 20°C tal como con tratamiento térmico a 90°C: a este título, se pueden comparar los ejemplos 11 y 15 sin wollastonita acicular (testigo) y los ejemplos 12 y 17 con 10% de wollastonita acicular.

Se observa en promedio una mejora de +25% de la resistencia intrínseca a la tracción directa del hormigón con fibra, gracias al agregado de wollastonita.

En todos los ejemplos, se obtienen resistencias a la compresión superiores

a 150 MPa para composiciones de hormigón que presentan valores E/C inferiores a 0,27.

Además, la introducción de wollastonita acicular mejora la regularidad de las características mecánicas del hormigón.

Esta ventajosa propiedad se ilustra mediante los gráficos de la figura 1 que representan, tal como se indicó precedentemente ensayos de flexión efectuados sobre tres muestras de composiciones de hormigón con fibras ( $E/C = 0,24$ , maduración a  $20^{\circ}\text{C}$ ) idénticos en todos los puntos excepto por la presencia o la ausencia del elemento de refuerzo de tipo de wollastonita acicular. Las composiciones sin wollastonita de acuerdo con el ejemplo 11 proveen las curvas (curvas 11,1, 11,2, 11,3) ampliamente desplazadas lo cual corresponde a una fuerte dispersión de los resultados de flexión. Por el contrario, con las composiciones que contienen wollastonita, a saber 10% de wollastonita acicular, de acuerdo con el ejemplo 12, las tres curvas (curvas 12,1, 12,2 y 12,3) obtenidas están muy cerradas y casi se confunden, lo cual significa una eliminación casi total de la dispersión de las características mecánicas del material.

Pueden aplicarse las mismas observaciones a los gráficos de la figura 2 referentes a las muestras de hormigón sin wollastonita, de acuerdo con el ejemplo 9, (curvas 9,1, 9,2, 9,3) y con la wollastonita, de acuerdo con el ejemplo 10 (curvas 10,1, 10,2, 10,3), siendo los hormigones ensayados hormigones con fibras que tiene un valor  $E/C = 0,24$  y un tratamiento térmico a  $90^{\circ}\text{C}$ .

El ejemplo 17 se refiere a un hormigón que comprende a la vez la wollastonita acicular y las fibras tratadas. Se constató que se obtienen los mejores rendimientos de tenacidad y resistencia a la flexión con este hormigón. Por lo tanto es mejor que el hormigón del ejemplo 10 que no comprende más que wollastonita acicular - y las fibras no tratadas - y mejor que el hormigón de ejemplo 16 que no contiene más que las fibras tratadas y ninguna wollastonita

acicular.

La combinación de fibras adherentes/matriz de alta tenacidad conduce la obtención de rendimientos mejorados.

Surge claramente en las curvas de la figura 5 (ejemplo 1), 6 (ejemplo 2) y 7 (ejemplo 3) que en el caso de muestras de hormigón sin wollastonita, se obtiene una débil porosidad únicamente si los hormigones han sido sometidos a un tratamiento térmico. Por el contrario, la adición de elementos de refuerzo de tipo de wollastonita a la composición de estos hormigones conduce de manera sorprendente a una débil porosidad incluyendo el caso de los hormigones sometidos a una maduración a 20°C.

La adición de wollastonita permite obtener una buena densificación del hormigón (porosidad reducida), y esto sucede igualmente para las condiciones normales de maduración a 20°C.

#### EJEMPLOS 18 - 23: Influencia de la naturaleza de las fibras

Los ejemplos 15 y 16 precedentes ilustran la influencia del mejoramiento del tratamiento de las fibras. De esta manera, la figura 4 muestra el mejoramiento de la adhesión de fibras/matriz que se obtienen para un tratamiento de superficie (fosfatación) de las fibras (curvas 16,1, 16,2), frente a las fibras no tratadas (curvas 15,1), incorporándose las fibras a una matriz tal como la definida en la Tabla I en los ejemplos 15 (fibras no tratadas) y 16 (fibras tratadas).

#### Ejemplo 18 - Varillas tratadas o no tratadas

Este ejemplo se refiere a los ensayos de adhesión de varillas realizados mediante el método general indicado más arriba - excepto que los alambres de acero son reemplazados por varillas de acero de un diámetro  $d = 5 \text{ mm}$ .

Estas varillas son introducidas en muestras de hormigón sin fibras.

La composición del hormigón en partes en peso es la siguiente:

Cemento Portland HTS:	1
Sílice vítrea MST:	0,325
Harina de Cuarzo C400:	0,300
Arena BE31:	1,43
Agente dispersante (extracto seco):	0,02
Agua:	0,25

Los ensayos de adhesión se realizaron en varillas, una de acero no tratada y la otra de acero tratada mediante fosfatación con manganeso según el protocolo general mencionado precedentemente excepto que se trata de varillas y no de alambres de acero.

Con la varilla no tratada, el esfuerzo de adhesión medio medido es de 10 MPa mientras que con la varilla fosfatada, es de 15 MPa.

#### Ejemplo 19 - Alambres de acero tratados o no tratados

Este ejemplo se refiere a ensayos de adhesión de alambres de acero - y no de varillas - realizados mediante el método general indicado más arriba. Las varillas son introducidas en muestras de hormigón sin fibras que presentan la misma composición que el del ejemplo 18.

Los ensayos de adhesión se realizaron sobre alambres, uno de acero no tratado y el otro de acero tratado por fosfatación con zinc según el protocolo general mencionado precedentemente.

Los resultados se reunieron en la figura 9: la fuerza del arrancamiento aumenta de 10 MPa (alambres no tratados) a 25 MPa (alambres tratados).

#### Ejemplo 20 - Utilización de la sílice de precipitación para aumentar la adhesión

Este ejemplo está destinado a ilustrar el mejoramiento de la adhesión fibras/matriz obtenida modificando la composición de la matriz cementaria del



ejemplo 18 mediante incorporación de sílice de precipitación, utilizándose dicha matriz en un hormigón con fibras metálicas no tratadas, con un valor E/C de 0,2 y un tratamiento térmico de 24 horas/24 horas a 90°C.

Los resultados están representados en la figura 3 que es un gráfico que reproduce las curvas obtenidas en un ensayo de tracción sobre muestras de 7X7X28 cm para una muestra de hormigón con 2% en volumen de fibras de acero no tratadas, cuya matriz fue o no modificada por adición de una cantidad de suspensión de sílice RHOXIMAT CS 960 SL de RHODIA CHIMIE igual a 1,9% equivalente en peso seco en relación al cemento (o sea 0,65% en peso en relación al hormigón).

En la figura 3, las ordenadas representan el esfuerzo a la ruptura expresado en MPa y las abscisas el desplazamiento transversal expresado en mm. Las curvas (20,1, 20,2, 20,3) dan los resultados para tres muestras con sílice y las curvas (20,4, 20,5) para dos muestras idénticas sin sílice. Podrá observarse que la dispersión de los resultados se reduce sensiblemente. Además, la energía disipada después del esfuerzo máximo aumenta considerablemente.

#### Ejemplo 21 - Influencia del diámetro de las fibras

Este ejemplo está destinado a ilustrar la influencia del diámetro de las fibras sobre la adhesión de fibra/matriz.

La composición de la matriz cementaria es la de los ejemplos 18 y 19. En esta matriz se introdujeron alambres de acero de diámetros de 100 y 200  $\mu\text{m}$  anclados en la matriz sobre una longitud de 5 mm.

Los resultados aparecen en la figura 10. Para una longitud de anclado de 5 mm, la adherencia aumenta muy sensiblemente cuando el diámetro aumenta de a 0,1 mm a 0,2 mm.

#### Ejemplo 22 - Influencia de la longitud de anclado de las fibras

Este ejemplo está destinado a ilustrar la influencia de la longitud del

anclado de las fibras sobre la adhesión de fibra/matriz.

La composición de la matriz cementaria es la de los ejemplos 18 y 19. Se introdujeron en esta matriz los alambres de acero de diámetros de 100 y 200  $\mu\text{m}$  sobre diferentes longitudes de anclado.

Los resultados aparecen en la figura 11. Para un alambre con características dadas, el esfuerzo de desadherencia está constante para longitudes de enclavas de 5 a 15 mm.

#### Ejemplo 23 - Agregado de un anti-espumante

Un medio de aumentar la adhesión de las fibras consiste igualmente en agregar un anti-espumante/desespumante a la composición de hormigón. De esta manera, se retoma el ejemplo 16 agregando un determinado porcentaje de anti-espumante/desespumante.

Los resultados aparecen en la figura 12. Se observa un beneficio del esfuerzo de desprendimiento maximal (pico) y sobre todo una más grande energía de ruptura que se debe a una mejor cualidad del inter-frente fibras/matriz, EJEMPLOS 25 - 29: Influencia de la granulometría de los constituyentes de hormigón

Se prepararon 5 hormigones según la invención a partir de los constituyentes (a), (b), (c) y (d) que presentan diferentes repartos granulométricos. Estos repartos granulométricos están representados en la figura 13.

Se observa que para estos 5 hormigones, los constituyentes (a), (b), (c) y (d) verifican la condición: el tamaño de grano D75 es siempre inferior a 2 mm, y el tamaño de grano D50 es inferior a 150  $\mu\text{m}$ . Los repartos granulométricos se diferencian por el valor del tamaño de grano máximo D100 o Dmax que varía entre 600  $\mu\text{m}$  y 6 mm.

Los hormigones se fabricaron a partir de estos 5 repartos granulométricos. Sus composiciones se reunieron en la Tabla 2. La composición se expresa en

porcentaje en volumen en relación al conjunto de la composición.

**Tabla 2**

Ejemplo	25	26	27	28	29
Dmax (mm)	0,6	1	2,5	4	6
Cemento HTS (a)	23	23	23	22	23
Sílice MST (c)	10	10	10	10	10
Cuarzo C500 (b)	7	7	7	7	7
Arenas BE31 (b)	37	14	13	8	11
Arena NI 0,4/1,3 (b)	0	24	0	0	0
Arena BB 0,5/2,5 (b)	0	0	25	10	7
Arena BB 2/4 (b)	0	0	0	21	0
Arena SK 3/6 (b)	0	0	0	0	20
Wollastonita NYADG (d)	5	5	5	5	5
Fibras BEKAERT	2	2	2	2	2
OPTIMA 100	3	3	3	3	3
Agua	13	12	12	12	12

Las diferentes granulometrías se obtuvieron trabajando sobre la naturaleza y cantidad de las arenas.

Las resistencias de compresión y las resistencias de flexión de 3 puntos para 3 muestras diferentes de cada hormigón 25 a 29 se dan en las figuras 14 y 15.

Se observa que cualquiera sea el reparto granulométrico y especialmente el valor de Dmax la resistencia de compresión sigue siendo superior a 150 MPa y la resistencia a la flexión sigue siendo superior a 30 MPa.

EJEMPLOS 30 - 33 - Efecto de sinergia de tenacidad de la matriz/adhesión de las fibras

Tal como se indica en el ejemplo 17, existe un efecto de sinergia entre la presencia de las fibras adherentes unidas a una matriz de alta tenacidad.

Los ejemplos 30-33 valorizan esta sinergia. La fórmula de base de los ejemplos 30 a 33 es en la Tabla 3.

En el ejemplo 30, las fibras son fibras de acero, la wollastonita no está presente.

En el ejemplo 31, las fibras son fibras de acero y la wollastonita está presente.

En el ejemplo 32, las fibras son fibras de acero tratadas por fosfatación de zinc, la wollastonita no está presente.

En el ejemplo 33, las fibras son fibras de acero tratadas por fosfatación de zinc, la wollastonita está presente.

Los hormigones se sometieron a un curado a 90°C.

Los hormigones de los ejemplos 30 a 33 se sometieron a ensayo de flexión de 3 puntos, y los resultados aparecen en las curvas 30, 31, 32 y 33 de la figura 16 y los valores claves se reunieron en la Tabla 3, donde se indican las composiciones en porcentajes en peso con respecto al cemento.

Tabla 3

Ejemplo N°	30	31	32	33
Cemento Portland (a)	1	1	1	1
Sílice vítrea (c)	0,325	0,325	0,325	0,325
Harina de cuarzo (b)	0,3	0,3	0,3	0,3
Wollastonita acicular (d)	0	0,24	0	0,24
Arena (b)	1,43	1,215	1,43	1,215
Dispersante (extracto seco)	0,018	0,018	0,018	0,018
Agua (e/c)	0,19	0,22	0,19	0,22
Fibras no tratadas (% volumen)	2	2	0	0
Fibras tratadas (% volumen)	0	0	2	2
Tratamiento térmico (°C)	90	90	90	90
Límite elástico (MPa)	16	28	29	36
Restricción al pico (MPa)	25	35	37,5	50
Flecha al pico (mm)	0,8	0,8	1	1,2

Se obtuvieron las mejores propiedades mecánicas para las fibras tratadas y la matriz que comprende la wollastonita del ejemplo 33. Se observó además un efecto de batido importante y un mecanismo de deterioro por multifisuración (red de microfisuras paralelas) y de no de monofisuración.

### REIVINDICACIONES

Habiendo así especialmente descripto y determinado la naturaleza de la presente invención y la forma como la misma ha de ser llevada a la práctica, se declara reivindicar como de propiedad y derecho exclusivo:

1. Hormigón constituido por una matriz cementaria endurecida en la cual están dispersadas fibras metálicas, provenientes de la mezcla con agua de una composición que comprende: cemento; elementos granulares; elementos de reacción puzolánica; por lo menos un agente dispersante, y dichas fibras; caracterizado por el hecho de que comprende además constituyentes que son capaces de mejorar la tenacidad de la matriz elegidos entre elementos aciculares o plaquetarios que tienen un tamaño medio de a lo sumo 1 mm, y que están presentes en una proporción volumétrica comprendida entre 2,5 y 35% del volumen acumulado de los elementos granulares y de los elementos de reacción puzolánica; teniendo los elementos de reacción puzolánica un tamaño de partículas elementales de a lo sumo 1  $\mu\text{m}$ , preferiblemente de a lo sumo 0,5  $\mu\text{m}$ ; presentando las fibras una longitud individual  $l$  de por lo menos 2 mm y una relación  $l/\varnothing$ , donde  $\varnothing$  es el diámetro de las fibras, de por lo menos 20, y la cantidad de fibras es tal que su volumen es inferior al 4%, y preferentemente inferior a 3,5%, respecto del volumen del cemento después del endurecimiento; el porcentaje en peso del agua en relación al peso acumulado del cemento y de los elementos de reacción puzolánica está comprendido en la gama de 8 - 24%; y el cemento presenta al menos una de las siguientes particularidades adicionales: los elementos granulares tienen un tamaño máximo de grano  $D_{\text{max}}$  de a lo sumo 2 mm, preferentemente de a lo sumo 1 mm, y la relación entre la longitud media  $L$  de las fibras y la dimensión  $D_{\text{max}}$  es de por lo menos 10; el conjunto de componentes formado por el cemento, los elementos granulares, los elementos de reacción puzolánica y los constituyentes capaces de mejorar la tenacidad

presenta un tamaño de grano D75 de a lo sumo 2 mm, preferentemente de a lo sumo 1 mm, y un tamaño de grano D50 de a lo sumo 150  $\mu\text{m}$ , preferentemente a lo sumo 100  $\mu\text{m}$ , y la relación entre la longitud media L de las fibras y el tamaño del grano D75 es de por lo menos 5, preferentemente de por lo menos 10.

2. Hormigón según la reivindicación 1, caracterizado porque por la tenacidad de la matriz cementaria es de por lo menos 15 J/m<sup>2</sup>, ventajosamente de por lo menos 20 J/m<sup>2</sup>.

3. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los elementos constituyentes capaces de mejorar la tenacidad tienen un tamaño medio de a lo sumo 500  $\mu\text{m}$ .

4. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los elementos constituyentes capaces de mejorar la tenacidad están presentes en una proporción volmétrica comprendida en la gama de 5%-25% del volumen acumulado de los elementos granulares y de los elementos de la reacción puzolánica.

5. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los elementos constituyentes capaces de mejorar la tenacidad - o elementos de refuerzo - de forma acicular se eligen entre las fibras de wollastonita, fibras de bauxita, fibras de mullita, fibras de titanato de potasio, fibras de carburo de silicio, fibras de celulosa o derivados de celulosa, fibras de carbono, fibras de fosfato de calcio, especialmente de hidroxiapatita HAP, fibras de carbonato de calcio o los productos derivados obtenidos por trituración de dichas fibras y de las mezclas de dichas fibras.

6. Hormigón según la reivindicación 5, caracterizado porque los elementos constituyentes capaces de mejorar la tenacidad son fibras de wollastonita.

7. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los elementos aciculares constituyentes capaces de mejorar

la tenacidad presentan una relación de longitud/diámetro de un mínimo de 3 y de preferencia un mínimo de 5.

8. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque los elementos constituyentes capaces de mejorar la tenacidad - o elementos de refuerzo - plaquetarios se eligen entre las plaquetas de mica, plaquetas de talco, plaquetas de silicatos mixtos (arcillas), plaquetas de vermiculita, plaquetas de alúmina y aluminatos o silicatos mixtos y las mezclas de dichas plaquetas.

9. Hormigón según la reivindicación 8, caracterizado porque los elementos constituyentes capaces de mejorar la tenacidad son plaquetas de mica.

10. Hormigón según las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque por lo menos una parte de los elementos de refuerzo constituyentes capaces de mejorar la tenacidad presentan en la superficie un revestimiento orgánico polimérico que comprende un látex o que se obtiene a partir de por lo menos uno de los siguientes compuestos: alcohol polivinílico, silanos, siliconatos, resinas de siloxanos, poliorganosiloxanos o el producto de la reacción entre (i) por lo menos un ácido carboxílico que contiene de 3 a 22 átomos de carbono, (ii) por lo menos una amina aromática o alifática polifuncional o una amina substituida, que contiene de 2 a 25 átomos de carbono, y (iii) un agente de reticulación que es un complejo de metal hidrosoluble, que contiene por lo menos un metal elegido de: zinc, aluminio, titanio, cobre, cromo, hierro, circonio y plomo.

11. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el esfuerzo de adherencia medio de las fibras metálicas en la matriz cementaria endurecida es de por lo menos 10 MPa, preferiblemente de por lo menos 15 MPa.

12. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque las fibras metálicas son fibras de acero.



13. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque presenta una geometría variable.

14. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque las fibras metálicas son fibras que han sido sometidas a un ataque químico que tiene como objetivo aumentar la adhesión de la fibra en la matriz cementaria.

15. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado porque las fibras metálicas son fibras que comprenden un depósito de un compuesto mineral, tal como sílice o de un fosfato metálico que tiene como objetivo aumentar la adherencia de la fibra en la matriz cementaria.

16. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque las fibras metálicas tienen una longitud comprendida en la gama de 10-30 mm.

17. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la matriz cementaria contiene complementariamente por lo menos uno de los compuestos siguientes, que tiene como función aumentar la adhesión de las fibras en la matriz: los compuestos de sílice que comprenden principalmente sílice, carbonato de calcio precipitado, alcohol polivinílico en solución acuosa, un látex o una mezcla de dichos compuestos.

18. Hormigón según la reivindicación 17, caracterizado porque el compuesto de sílice es sílice de precipitación introducida en un tenor comprendido entre 0,1% y 5% en peso, expresado en seco, en relación al peso total del hormigón.

19. Hormigón según la reivindicación 18, caracterizado porque el sílice de precipitación es introducido en la composición bajo la forma de una suspensión acuosa.

20. Hormigón según la reivindicación 19, caracterizado porque la

suspensión acuosa presenta: un tenor de materia seca comprendido entre 10 a 40% en peso; una viscosidad inferior a  $4,10^{-2}$  Pa.s para un cizallamiento de  $50 \text{ s}^{-1}$ ; una cantidad de sílice contenido en el sobrenadante de dicha suspensión a 7.500 trs/min durante 30 minutos, además de 50% en peso de sílice contenido en la suspensión.

21. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la relación  $l/\phi$  de las fibras es de a lo sumo 200.

22. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el tamaño de grano máximo  $D_{\max}$  de los elementos granulados es de a lo sumo 6 mm.

23. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los elementos granulares son arenas o mezclas de arena, tamizados o triturados, que pueden comprender ventajosamente arenas silíceas, en particular harina de cuarzo.

24. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque dichos elementos granulares están presentes a razón de 20 a 60%, de preferencia de 25 a 50% en peso de la matriz cementaria.

25. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los elementos de reacción puzolánica comprenden elementos elegidos entre los compuestos de sílice, especialmente sílice fumante, cenizas voladoras o lechadas de altos hornos.

26. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el porcentaje en peso de agua en relación al peso acumulado de cemento y de los elementos de reacción puzolánica está comprendido en la gama de 13-20%.

27. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque está precontraído en pre-tensión.

28. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 26, caracterizado porque está precontraído en post-tensión.

29. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque presenta una resistencia a la tracción directa de por lo menos 12 MPa.

30. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque presenta una resistencia a la flexión de 4 puntos (módulo de ruptura) de por lo menos 25 MPa.

31. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque presenta una resistencia a la compresión de por lo menos 150 MPa.

32. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque presenta una energía de fracturación de por lo menos 2500 J/m<sup>2</sup>.

33. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque se somete, después de solidificación, a una maduración a una temperatura cercana a la temperatura ambiente, por ejemplo de 20°C, durante todo el período necesario para obtener las características mecánicas deseadas.

34. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 32, caracterizado porque se somete después de la solidificación a un tratamiento térmico entre 60°C y 100°C a presión normal.

35. Hormigón según la reivindicación 34, caracterizado porque la duración del tratamiento térmico es de 6 horas a 4 días, en general de 6 horas a 72 horas.

36. Matriz cementaria formada por los componentes del hormigón de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 35, caracterizada por el hecho de que excluye las fibras metálicas.

37. Premezclas caracterizadas por el hecho de que comprenden la totalidad o parte de los constituyentes necesarios para la preparación de la matriz según la reivindicación 36 o del hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 35, caracterizadas por el hecho de que las premezclas no comprenden agua.

**p.p. de: BOUYGUES\*LAFARGE\*RHODIA CHIMIE**

### RESUMEN DE LA INVENCION

La invención se refiere a un nuevo hormigón de fibras metálicas, una matriz cementaria y una premezcla cementaria.

El hormigón comprende, además del cemento y las fibras, granulados, elementos de reacción puzolánica, constituyentes que son capaces de mejorar la tenacidad de la matriz, por lo menos agentes dispersante y agua, componentes que tienen las características y/o las proporciones definidas.

La invención se aplica especialmente a la obtención de una matriz cementaria que tiene una tenacidad de por lo menos  $15 \text{ J/m}^2$  y un hormigón que tiene una resistencia a la flexión de cuatro puntos de por lo menos 25 MPa, una resistencia a la compresión de por lo menos 150 MPa y una energía de fractura de por lo menos  $2500 \text{ J/m}^2$ .